# 白蜡虫马氏管的超微结构*

徐天瑞 刘晨光 吴次彬
(中国科学院昆明动物研究所 昆明 650223) (四川联合大学生物系 成都 610064)

**摘要** 白蜡虫 *Ericerus Pela* 的马氏管由两条黄色膨泡串状的端管和一条公共管构成，通过公共管与消化道相连。端管和公共管细胞结构相似，都具有非胶原质的基膜，高度发达的基褶，长而致密的微绒毛，微绒毛无线粒体插入，细胞质中线粒体少，且随机分布。细胞质的绝大部分为两种矿质-尿酸颗粒结晶所占据，一种为不规则结晶，另一种为轮纹状结晶。白蜡虫马氏管可能发生了合胞化，其排泄方式可能是一种以滞留排泄为主，离子梯度排泄方式为辅的特有的排泄方式。

**关键词** 白蜡虫，马氏管，超微结构，胞内结晶

白蜡虫 *Ericerus pela* Chavannes 属同翅目，蚧总科，蜡蚧科，白蜡虫属。主要分布于我国，是一种重要资源昆虫。马氏管是昆虫最主要的排泄器官，它可排出体内的水、无机盐和新陈代谢产物，特别是含氮废物，同时维持身体内平衡。对白蜡虫马氏管超微结构的研究，可以对其形态结构有一个深入的了解，使我们对白蜡虫消化、排泄和渗透压调节认识进入更深的层次，为更好地开发和利用白蜡虫提供理论依据。

国外关于马氏管超微结构的报道很多[1~6]，国内也有两篇有关文献[7~8]，至今未见介壳虫马氏管超微结构方面的报道[9~11]。

本文利用扫描、透射电镜研究了白蜡虫马氏管的形态结构，并对其合胞现象、泌尿方式进行了探讨。

## 1 材料和方法

### 1.1 试虫

本实验白蜡虫成虫于1993年11、12月采于四川联合大学校园小叶女真树上。

### 1.2 透射电镜观察

将活体解出的马氏管用磷酸缓冲液配制的4%的戊二醛固定72 h，磷酸缓冲液配制的锇酸固定1 h时，丙酮梯度脱水，EPON-812渗透，包埋，超薄切片厚度约800 Å，醋酸铀、柠檬酸铅双染，在JEM-100X2型透射电子显微镜下观察并拍照。

---

* 该项工作实验部分系在四川联合大学完成

1994-11-10收稿，1996-05-14收修改稿

### 1.3 扫描电镜观察

活体解剖的白蜡虫马氏管在 4 %的磷酸缓冲液配制的戊二醛中固定 48 h，丙酮梯度脱水，以异戊二酯为中间液，二氧化碳临介点干燥，干燥后的马氏管经解剖处理，在真空镀膜机上镀金，S-450 扫描电子显微镜下观察并拍照。

## 2 结果和分析

### 2.1 马氏管的一般结构

白蜡虫马氏管由两条淡黄色膨泡串状的端管和一条公共管构成，端管长约 3.6 mm，每管平均由 41 个细胞构成，其上无肌肉分布，两端管在虫体前端汇合成公共管，公共管长约 0.4 mm，平均由 8 个细胞构成。其上有少量纵肌，纵肌能使马氏管颤动，促进血淋巴流动，有利于充分地从中吸收代谢废物。端管和公共管的细胞大小略有差异，但细胞内的晶体、线粒体和微绒毛在种类、密度及其分布等方面均无明显区别，因此，我们认为端管和公共管的细胞结构相似，很可能由同一类细胞构成（图 1、图版 Ⅰ：1、2）。

由图 1 可见白蜡虫马氏管由端管和公共管组成，并由肠过渡段连于中，后肠结合部。马氏管管腔复杂，在端管形成了以盲管，独立管，岔管为基础的次生管道系统。

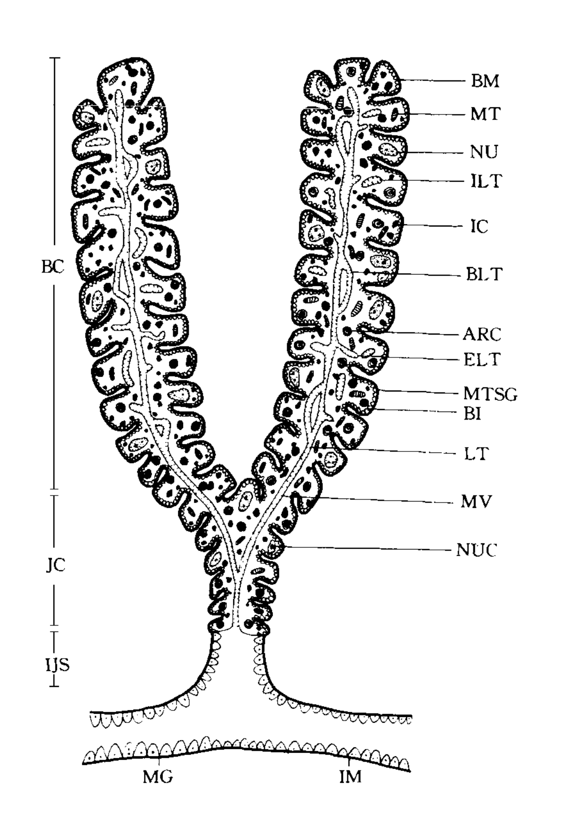



图 1 白蜡虫马氏管纵切模式图

ARC：轮纹状结晶；BI：基褶；BLT：岔管；BM：基膜；BC：端管；ELT：盲管；IC：不规则结晶；IJS：过渡段；ILT：独立管；IM：后肠；JC：公共管；LT：主管道；MG：中肠；MT：线粒体；MTSG：马氏管膨泡；MV：微绒毛；NU：细胞核；NUC：核仁

### 2.2 基膜和基褶区

白蜡虫马氏管的端管和公共管外具有一层厚 0.3 μm 的基膜，基膜质地均一，不分层，在高倍放大情况下未发现有胶原纤维。基膜外无结缔组织包围，公共管的基膜上附有少量纵肌。基膜与基褶的联系脆弱，未经弹性蛋白酶处理基膜与基褶就很容易分开。基膜除了对排泄物质具有选择性通透性外，还可以吸附正离子，并能维持马氏管的外形（图版 Ⅰ：1～4）。

基膜之下是高度内折的细胞膜基褶，白蜡虫马氏管基褶较深，可深达 10 μm，基褶的间隙极紧密，两侧的细胞膜几乎紧贴在一起，形成了窄长的基褶缝隙。基膜附近有一定的线粒体分布，线粒体紧靠基褶的分布及基褶缝隙的窄长，为溶质-水偶联的离子梯度排泄提供了合适的几何结构。基膜之下，基褶的上端常可见到一定数目的吞噬小泡，这些吞噬小泡可能能吸收不能通过溶质-水偶联离子梯度排泄方式排泄的大分子蛋白质等物

质(图版Ⅰ:4)。

### 2.3 细胞质区

白蜡虫马氏管端管和公共管的细胞质中具有大量的矿质-尿酸结晶，结晶几乎占去了细胞质体积的一半。结晶可分为不规则结晶和轮纹状结晶两类。不规则结晶大体呈球形，数量很多，约占结晶总数的 70 %，其体积相对较小，不规则结晶从极微小的颗粒到直径 1.3 μm 的结晶都存在，因此很可能起源于自然沉积。轮纹状结晶体积相对较大，约占结晶总数的 30 %。细胞质还有少量体积和线粒体相似，电子染色与轮纹状结晶一致的不分层结晶，这类结晶很可能是轮纹状结晶的前体，周期性沉积的结果才形成轮纹。不规则结晶、轮纹状结晶都遍布整个细胞质，没有明显的集中分布趋势。一些轮纹状结晶的中央具有白色的空洞形成“蛋形”结晶，这可能是制片过程中部份结晶内含物溶解所致。部份不规则状结晶的中央和周围也有一些白色区域，这可能是因为不规则结晶比较坚硬，在切片过程中发生了局部脱落所致(图版Ⅰ:1～2,9～10)。

白蜡虫马氏管细胞中线粒体数目较少，随机地分布在基褶区、胞质区和微绒毛基区(图版Ⅰ: 4、7、9)。自溶线粒体随处可见，有的线粒体一半的嵴十分清楚，一半已自溶并开始了矿物质沉积(图版Ⅰ:4)。

从电镜照片中我们可以看出，白蜡虫马氏管细胞富含自由核糖体，并有一定数量的多聚核糖体，内质网。这说明白蜡虫马氏管细胞有一定的合成蛋白质的能力，这些蛋白质可能参与了结晶的构建(图版Ⅰ:6、9、10)。

### 2.4 微绒毛区

白蜡虫马氏管的端管及公共管管腔面具有长而致密的微绒毛，端管及公共管在微绒毛的长度、致密度上无明显区别。同基褶一样，微绒毛增加了细胞的膜面积。细长、致密、平行排列的微绒毛又一次为马氏管的离子梯度排泄提供了合适的几何结构。白蜡虫马氏管微绒毛长约 3 μm，横切面呈圆形，绒毛间最近距离为 25 μm，每根绒毛内有 3～7 根微管插入其中，微管不仅起到了维持微绒毛形状的作用，而且与微绒毛的生长和运动有关[12]。白蜡虫马氏管的微绒毛未见在其它昆虫中常见的线粒体及内质网插入[7]。这说明其主动运输功能不会太强。白蜡虫马氏管部分微绒毛顶端膨大，形成绒毛顶端泡吐，这可能是白蜡虫马氏管的另一种排泄方式(图版Ⅰ:2,5～8)。

## 3 讨论

### 3.1 白蜡虫马氏管的合胞现象

在白蜡虫马氏管电镜切片的观察中，从基膜到微绒毛一直未发现白蜡虫马氏管的细胞之间有隔膜或间隙连接等细胞连接形式，各膨泡间的结合部也未发现细胞器、细胞内结晶分布的改变。在石蜡切片中各膨泡间质地均一，没有明显的过渡，这种情形也见于介壳虫 *Quadrapidiotus ostreaeformis*[9,11]。因此白蜡虫马氏管细胞可能发生了合胞化。细胞的形状与细胞间的间隙都由基膜的形状来体现。这与白蜡虫马氏管细胞作为一种终极细

胞，细胞只体积增大不发生分裂，整个马氏管作为一个滞留排泄单位而存在是一致的。

### 3.2 白蜡虫马氏管的排泄方式

昆虫马氏管排泄方式很多，有离子梯度方式[1]、形成体方式[6]、分泌泡方式[8]、滞留排泄方式[12]、细胞间隙方式等[2]。离子梯度方式是指昆虫马氏管通过基褶、微绒毛处的 $Na^{+}$-$K^{+}$离子泵在马氏管细胞内形成 $K^{+}$浓度离子梯度，以 $K^{+}$离子浓度梯度为动力，通过溶质-水偶连作用将排泄物排入马氏管管腔。离子梯度方式是一种高效但高耗能的排泄方式。滞留排泄方式是指昆虫排泄物——主要是尿酸和金属离子在细胞内相互作用形成胞内结晶，以达到从血淋巴中排出代谢废物的排泄方式。大多数昆虫马氏管的排泄过程中离子梯度方式与滞留排泄方式并存。

白蜡虫马氏管细胞特别巨大，胞内结晶占了细胞质的一半，并且随着虫体的生长而不断增多，马氏管管腔细小，出现了补偿性的次生管道系统[9].这说明滞留排泄在白蜡虫马氏管中十分重要。另一方面，白蜡虫马氏管线粒体少，绒毛内无线粒体插入，没有能力进行高耗能的排泄，这又说明离子梯度方式在白蜡虫马氏管中的地位并不突出。因此我们推断，白蜡虫马氏管的排泄方式以滞留排泄为主，以离子梯度方式为辅。白蜡虫马氏管采用低耗能的滞留排泄为主的排泄方式与白蜡虫是一种固着于寄主上的不活跃昆虫是一致的。

## 参 考 文 献


1 Bradley T J. Functional design of microvilli in the Malpighian tubules of *Rhodnius prolixus*. J. Cell Sci.，1983，**60**：117～135

2 Dalton T. The permeability characteristic of the isolated Malpighian tubules of housefly *Musca domestica*. Comp. Biochem. Physiol.，1981，**69**(A)：211～217

3 Green L F B. Regional specialization in the Malpighian tubles of the New Zealand glow-worm *Arachnocampa luminosa* (Diptera：Mycetophilidae). Tissue and Cell，1979，**11**(4)：673～702

4 Hazelton S R. Excretion in house cricket *Acheta domesticus*：Fine structure of Malpighian tubles. Tissue and Cell，1988，**20**(3)：443～460

5 Sohal R S. Fine structure of the Malpighian tubles in the housefly *Musca domestica*. Tissue and Cell，1974，**6**(4)：719～728

6 Wall B J. Morphology and function of Malpighian tubles and associated structures in cockroach *Periplaneta americana* J. Morph.，1975，**146**：265～306

7 陈长琨等．小地老虎变态期间马氏管超微结构与酯酶活性变化．昆虫学报，1991，**34**(3)：284～288

8 陈长琨等．小地老虎马氏管细微结构的特点．昆虫学报，1991，**34**(4)：417～419

9 徐天瑞等．白蜡虫马氏管的研究．林业科学研究，1995，专刊 22～26

10 徐天瑞等．昆虫马氏管的超微结构及泌尿机制．林业病虫防治，1994，**1**：34～38

11 Bielenin I. Studies on progress of postembryonic morphgenesis in scale insects. Part 3. The alimentary canal and Malpighian tubules of *Quadraspidiotus ostreaeformis* during postembryonic development. Biologica Cracoviensia Series Zoologia，1975，**18**：147～184

12 Bradley T J. The excretory system. In：Kerkut G A，Gilbert L I eds. Comprehensive Insect Physiology Biochemistry and Pharmacology. Pergamon press. Oxford. 1985，**4**：421～466

# THE ULTRASTRUCTURE OF MALPIGHIAN TUBULES OF WHITE WAX SCALE

Xu Tianrui
(*Kunming Institute of Zoology, Academia Sinica　Kunming*　650223)
Liu Chenguang　Wu Cibin
(*Department of Biology, Sichuan Union University　Chengdu*　610064)

**Abstract**　The ultrastructure of Malpighian tubules of white wax scale, *Ericerus pela* Chavannes was studied in 1993～1994. The results are summarized as follows.

According to our observation, Malpighian tubules of white wax scale consist of two yellow beaded distal tubules and one common tubule, which joins the gut. The structure of basal tubules and common tubule cells are similar. The Malpighian tubules of this insect possess non-collagen basement membrane, highly infolded basal foldings, and long and packed microvilli. There are 3～7 microtubules in each microvillus which carries out exocytosis. There are a few mitochondria distributing randomly and lots of ribosomes in the cytoplasm of Malpighian tubules. The cytoplasm is full of two sorts of mineral-uric acid concretions designated as laminated concretion and irregular concretion. The excretion pattern of Malpighian tubules of white wax scale is a special one, in which the store-excretion pattern is primary and the ion-gradient excretion pattern is secondary.

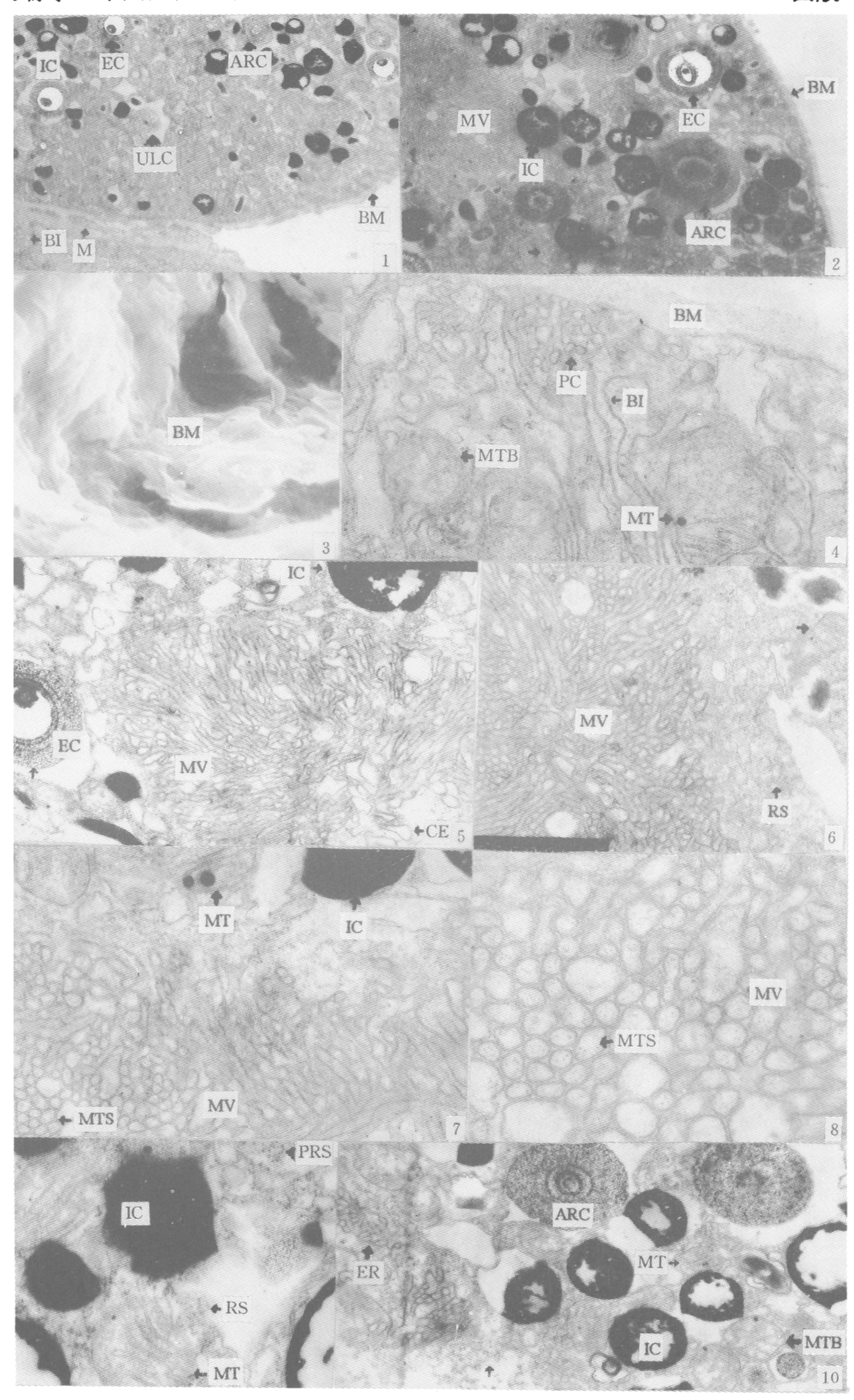
**Key words**　white wax scale, Malpighian tubule, ultrastructure, intracellular concretion

## 图 版 说 明

### 图版 I

1. 白蜡虫马氏管公共管横切　×3 600；2. 马氏管端管横切　×4 800；3. 马氏管端管基膜扫描电镜照片　×1 500；4. 马氏管端管横切　×19 000；5. 马氏管端管微绒毛纵切　×10 000；6. 马氏管端管微绒毛切片　×14 000；7. 马氏管公共管微绒毛切片　×19 000；8. 图片 7 左下角局部放大　×76 000；9. 马氏管公共管横切　×19 000；10. 马氏管端管横切　×10 000。

ARC：轮纹状结晶，BI：基褶，BM：基膜，CE：胞吐，EC：蛋形结晶，ER：内质网，IC：不规则结晶，M：纵肌，MTS：微管，MT：线粒体，MTB：自溶线粒体，MTSG：马氏管膨泡，MV：微绒毛，PC：吞噬泡，PRS：多聚核糖体，RS：核糖体，ULC：不分层结晶


IC
EC
ARC
ULC
BM
BI
M
1
MV
EC
BM
IC
ARC
2
BM
3
BM
PC
BI
MTB
MT
4
IC
EC
MV
CE
5
MV
RS
6
MT
IC
MV
MTS
7
MV
MTS
8
PRS
IC
RS
MT
ER
ARC
MT
IC
MTB
10

图注见 287 页